

## 应用 交流

## 改善多路输出开关电源交叉调整率的无源设计方法

林思聪 (福州大学, 350002)

**摘要:**介绍了4种提高多路输出开关电源负载交叉调整率的无源设计方法,分析了其工作原理及在实际应用中要注意的原则。

**关键词:**开关电源;多路输出;交叉调整

**中图分类号:**TP202      **文献标识码:**B      **文章编号:**1004-0420(2005)01-0037-02

## Passive solution to improve cross regulation of multi-output SMPS

LIN Si-cong

(Fuzhou University, 350002)

**Abstract:** The principles and design guidelines of four passive solutions to improve cross regulation of multi-output SMPS were given. In addition, their application notes were also given respectively.

**Key words:** switching mode power supply; multi-output; cross regulation

## 0 引言

多路输出的开关电源广泛应用于小功率的各种复杂电子系统供电电源中。对于多路输出的情况,通常只有输出电压低、输出电流变化范围大的一路作为主电路进行反馈调节控制,以保证在输入电压及负载变化时保持输出电压稳定。图1为一个两路输出的反激式开关电源。理想情况下,辅助输出电压与主输出电压满足变压器匝数比的关系,即只要使主输出电压保持稳定,则辅助输出电压也能保持稳定。但实际上由于受变压器各个绕组间的漏感、绕组的电阻、电流回路寄生参数等的影响,辅助输出电压随输出负载的变化而变化。通常当主输出满载,辅助输出轻载时,辅助输出电压将升高;而当主输出轻载,辅助输出满载时,辅助输出电压将降低。这就是多路输出的负载交叉调整率问题。目前,改进多路输出开关电源的交叉调整率的方法可分为无源和有源两类。有源的方法(加后级调节控制)虽然具有高稳压精度,但电源的可靠性、效率和复杂性不如无源的方法好。

本文介绍了几种改善多路输出开关电源交叉调整率的无源设计方法,供设计多路输出开关电源参考。

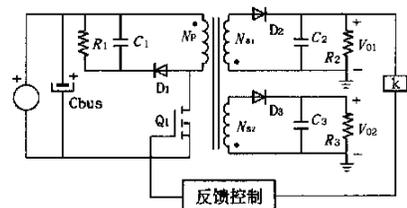


图1 两路输出的反激式开关电源

## 1 输出电压加权反馈控制

利用加权的原理,把主输出电压和辅助输出电压按一定的权重比例进行取样反馈,从而使辅助输出电压也能像主输出电压一样,能够对占空比起到一定的调节作用,使辅助输出电压的变化得到一定程度的改善,从而提高输出电压的交叉调整率。图2为两路输出加权反馈控制原理图,其中  $K_1$ 、 $K_2$  分别表示主输出和辅助输出的加权

因子。加权因子大小决定了电路的工作特性及反馈补偿电路的选择<sup>[1]</sup>,所以合理的选取,则能极大地改进电源的交叉调整率。在文献<sup>[2]</sup>中详细介绍了正激式开关电源选取加权因子大小的设计过程。在一台 70W 双路输出(主输出 6.5V/4A,辅助输出 24V/1.8A)的正激式开关电源样机中,采用加权反馈控制可使交叉调整率达到 7%,比单路反馈控制提高了 12%(在主电路空载和满载的条件下测得)。

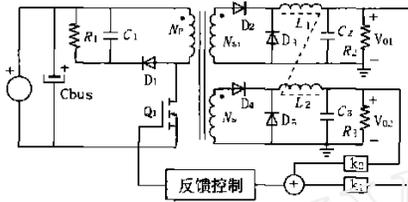


图2 两路输出加权反馈控制原理图

应用该方法的原则:

- a. 该设计方法一般与输出滤波电感耦合设计,同时应用于正激式开关电源。对于反激式开关电源,可采用同样的方法设计加权因子;
- b. 一般应用于输出电压精度要求不太高,而交叉调整率较高的电源。

## 2 各路输出滤波电感的耦合

如果把正激变换器各路输出的输出滤波电感进行耦合,可大大改进负载建立瞬间各路输出的交叉调整率<sup>[3]</sup>。其根本原理是通过电感耦合,使多路输出电流变化量相互感应,改善电感电流脉动,从而保持多路输出电压间的比例关系,改善负载交叉调整率。如图3中 $L_1$ 、 $L_2$ 所示。若多路输出功率是平衡的(两路),则应将 $L_1$ 、 $L_2$ 采用并绕的方式绕制在同一磁芯上;若多路输出功率不平衡,则输出滤波电感的匝比一般按输出电压的比率选取,且由于滤波电感间的耦合系数对电源的工作特性影响很大,所以要根据实际情况合理选取耦合系数。采用图3的加权控制和滤波电感耦合的方法,在一台 70W 的双路输出(主输出 6.5V/4A,辅助输出 24V/1.8A)的正激式开关电源样机中,可使交叉调整率达到 4%左右。

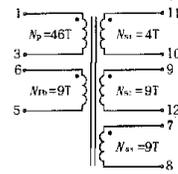


图3 加权控制和滤波电感耦合方法

## 3 变压器各绕组耦合优化

在开关电源的设计过程中,由于高频变压器的参数对开关电源的性能影响很大,所以高频变压器的设计是很重要的。对多路输出的电源,其输出阻抗直接决定了输出电压的变化,输出阻抗与各输出绕组间的漏感成正比,而初、次级绕组的耦合程度对输出阻抗也有很大影响,所以设计多路输出高频变压器要使各输出绕组间紧密耦合,且输出电流变化范围大的绕组(主输出绕组)与初级绕组要耦合的最好,这些都有利于提高交叉调整率<sup>[4]</sup>。可见,在设计多路输出变压器时,如何合理放置变压器的绕组,会对提高电源的交叉调整率有很大的帮助。通过仿真和试验,比较了如图3所示,3路输出变压器的6种不同的绕组放置方法对输出交叉调整率的影响,得出相同的结论<sup>[5]</sup>。对图3所示的变压器,为提高交叉调整率,则绕组的最佳绕制顺序为: $N_p, N_{s1}, N_{s2}, N_{fb}$ 。其中对 $N_{s2}$ 匝数做了处理,即 $N_{s2}$ 原来9匝变成5匝,而还差的4匝则利用了 $N_{s1}$ 的4匝。

应用原则:该方法能够在开发的初始阶段指导多路输出变压器的绕组设计,对多路输出电源,特别是反激式电源的设计很有参考价值的。

## 4 钳位电路的设计

漏感会导致变压器电压的尖峰,对于反激变换器,该尖峰会直接引起辅助输出轻载时输出电压的攀升。如果能保持钳位电压的大小略高于次级反射电压,则多路输出反激式开关电源的交叉调整率能得到极大的改进。图1所示的RC钳位电路可通过减小 $R$ 来降低钳位电压,但这样会引起电路损耗增大,显然采用这种方法提高交叉调整率的是以牺牲电源的效率为代价的。这里介绍

了两种能提高交叉调节的改进的无损缓冲电路<sup>[6]</sup>,其电路原理图如图4、图5所示。在图4中, $L_x$ 是一个储能电感,而在图5中, $N_r$ 是与多路输出变压器绕在同一个磁芯的一个绕组。采用图5所示的无损缓冲电路,在一样机中试验证实交叉调整率比RCD钳位提高了14%,且效率也提高7%左右。

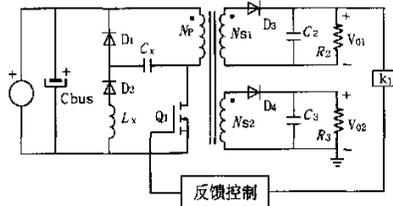


图4 无源缓冲电路(之一)

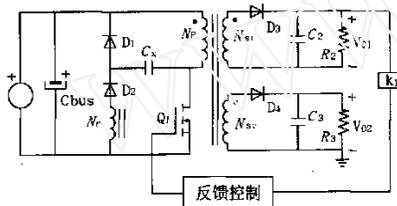


图5 无源缓冲电路(之二)

图4的缓冲电路设计的依据是:

- 由于 $L_x$ 大,则开关管的电压应力大,而 $L_x$ 小,则开关管的电流应力大,因此应根据开关管的电压和电流应力适当选择 $L_x$ 的值;
- $L_x$ 与 $C_x$ 的谐振频率要低于开关频率,且 $C_x$ 要足够大,从而可选择 $C_x$ 的大小;

图5的缓冲电路设计的依据是:

- $C_x$ 应足够大,以保持 $U_{C_x}$ 在一个周期内稳定;

- $N_r > \frac{V_{01} \cdot N_p^2}{V_g \cdot N_{s1}}$  ( $V_g$ 是输入直流电压)。

应用原则:

- 图4的无源缓冲电路的钳位电压与负载电流的变化无关,所以可保证输入电压在宽范围变化时,保持交叉调节的稳定,故适合应用于改进AC-DC变换器的交叉调整率;
- 图5的无源缓冲电路的钳位电压会跟随输入电压的变化,交叉调整率不能稳定。所以该方

法适合应用于提高DC-DC变换器交叉调整率。

## 5 结语

本文综合介绍的几种提高多路输出开关电源负载交叉调整率的无源设计方法、原理和原则,简单、可靠且易于设计,很适用于小功率、低成本的多路输出开关电源的设计应用,能满足一般多路输出电源对负载交叉调整率的要求。实际上在辅助输出接上一个适当大小的假负载,也有利于提高负载的交叉调整率。这些方法对初次开发开关电源的设计者有很好的参考价值,有利于缩短产品的开发周期,减少开发费用。

### 参考文献:

- [1] Q. Chen, M. M. Jovanovic and F. C. Lee. Signal Analysis and Design of Weighted Voltage - Control for a Multiple - Output Forward Converter [J]. Electronics, vol. 10, no. 5 p. 589 - 596, Sept. 1995.
- [2] Q. Chen, F. C. Lee, and M. M. Jovanovic. DC analysis and design of multiple - output forward converters with weighted voltage control. in Proc [J]. IEEE Applied Power Electron. conf., Mar, 1993.
- [3] S. Cuk and R. D. Middlebrook. Couple - inductor and Other Extensions of A New Optimum Topology Switching dc - to - dc Converter [J]. Advances in Switched - mode Power Conversion, vols I and II, p331 - 347, 1983.
- [4] Dragan Maksimovic and Robert Erickson. Modeling of Cross - Regulation in Multiple - Output Flyback Converters [J]. IEEE 1999.
- [5] Feng Wang, Yuequan Hu and Wei Chen. Modeling, Simulation, and Analysis of Cross Regulation of Multi - Output Flyback Converters [C]. 2003 台达电力电子技术研讨会论文集.
- [6] Chuanwen Ji, K. Mark Smith, and Keyue M. Smedley. Cross Regulation in Flyback Converters: Solutions [C]. The 25<sup>th</sup> Conf of IES, IEEE 1999.

收稿日期:2004 - 04 - 19

作者简介:林思聪,硕士研究生。研究方向:高频磁元件的分析及应用,福州大学电气工程及自动化学院。